

Docket No.: 52775-027

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Takayuki HIRAI	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: December 12, 2003	:	Examiner:
	:	
For: MULTIPOINT LUMP HOMOGENIZING OPTICAL SYSTEM	:	

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

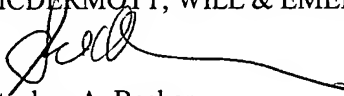
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. JP 2003-22967, filed on January 31, 2003.

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Stephen A. Becker
Registration No. 26,527

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 SAB:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: December 12, 2003

52775-027
Takayuki Hirai
December 12, 2003

日本国特許庁 *McDermott, Will & Emery*
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月31日
Date of Application:

出願番号 特願2003-022967
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2003-022967]

出願人 住友電気工業株式会社
Applicant(s):

2003年10月29日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



K-480 US

出証番号 出証特2003-3089658

【書類名】 特許願

【整理番号】 102H0819

【提出日】 平成15年 1月31日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 G02B 05/32
G02B 19/00
G02B 21/00
B23K 26/06
G02B 27/09

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号住友電気工業株式会社大阪製作所内

【氏名】 平井 隆之

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代表者】 岡山 紀男

【代理人】

【識別番号】 100079887

【住所又は居所】 大阪府大阪市東成区中道 3 丁目 1 5 番 1 6 号毎日東ビル
7 0 5

【弁理士】

【氏名又は名称】 川瀬 茂樹

【電話番号】 06-6974-6321

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 000516

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9715687

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 一括多点ホモジナイズ光学系

【特許請求の範囲】

【請求項1】 中心でエネルギー密度が高く周辺で低いレーザビームをある範囲ではほぼ均一のエネルギーを有する20～100の有限次数のスーパーガウシアン分布のビームに変換するホモジナイザ回折型光学部品(DOE)と、ホモジナイザDOEの焦点位置に設けられホモジナイズされたビームのサイズより大きい開口部を有するアパーチャマスクと、アパーチャマスクを通過したスーパーガウシアン分布ビームを複数の方向に分離された分岐ビームに分離する分岐回折型光学部品(DOE)と、スーパーガウシアン分布の分岐ビームを被処理物の存在する像面の複数点に集光するレンズとからなることを特徴とする一括多点ホモジナイズ光学系。

【請求項2】 ホモジナイザDOEが、半径aで円形分布するほぼ均一なスーパーガウシアン分布 $\exp\{-2(r/a)^m\}$ に変換する($m=20\sim100$)のものであり、アパーチャマスクが半径cの円形開口部を有するものであり、 $a < c$ であることを特徴とする請求項1に記載の一括多点ホモジナイズ光学系。

【請求項3】 ホモジナイザDOEが、 $2a \times 2b$ の矩形状に分布するほぼ均一なスーパーガウシアン分布 $\exp\{-2(x/a)^m - 2(y/b)^n\}$ に変換する($m, n=20\sim100$)のものであり、アパーチャマスクが $2c \times 2d$ の矩形状の開口部を有するものであり、 $2a < 2c$ 、 $2b < 2d$ であることを特徴とする請求項1に記載の一括多点ホモジナイズ光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、炭酸ガスレーザ、YAGレーザ、エキシマレーザなどハイパワーのレーザの不均一分布ビームの強度分布をある範囲で均一なトップハット型の分布に変換し、さらにDOEなどで多数のビームに分岐して被処理物(対象物)に照射して、同時に多数点で、熱処理、穴穿孔、溶接、研磨などの加工、処理を一括して行うようにしたレーザ加工用装置の改良に関する。

【0002】

気体レーザ、固体レーザのビームは中心で強度が高く周辺部では低いというような軸対称の不均一強度分布を持っている。それはだいたいガウシアンビームであり一様な強度ではない。そこでビームを広げて平行拡大ビームとして、それを強度が均一になるように変換する。

【0003】

それは例えば、強度変換レンズ L_1 、位相補正レンズ L_2 よりなる2枚のレンズの組によってなされる。強度変換レンズ L_1 は中央凹レンズ部で中心部分のビームを広げ周辺の凸レンズ部分でビームを狭めて強度を大体同一にする。それだけだと位相がバラバラになるので、強度変換レンズと相補的な厚みをもった位相補正レンズ L_2 で位相を合わせる。つまり位相補正レンズ L_2 の出口で位相は一様になるようにする。

【0004】

そのように強度をある範囲（ある直径の範囲）で一様になるようにする事をホモジナイズとここでは呼ぶことにする。均一強度のビームを得るためには単に振幅をある範囲で均一にすれば良いのかというとそうではない。ビームは光なのであるから振幅と位相をもつ。ある点で強度が均一なビームになったとしても位相が揃っていないければ、その後の伝搬によって振幅自体も乱れてしまい質の良い均一ビームにはならない。だからホモジナイズというのは振幅だけを一定レベルに揃えるだけでは不十分であり位相も揃えるというのが望ましい。位相はつい影に隠れてしまうので均一化においてもれてしまうが平面波というのは位相も揃って初めて平面波なのであるから、ある点で強度を均一（トップハット型； $r \leq a$ で1、 $r > a$ で0）にしたときに位相も揃っているということが要求される。

【0005】

【従来の技術】

トップハット型の均一強度分布を作るための方法としてはいくつも提案されている。

【0006】

(1) ビーム分割法

カライドスコープ、セグメントミラーなどレーザービームを分割して、それを重ね合わせるというような方法である。レーザービームを二次元的に格子状に分割し、それらのビームを全て同じ点に集結させる。しかし、多数のビームを重ね合わせるため、それぞれのビームの干渉により均一強度は得られない。さらに、位相が全く乱れてしまうから集結点で被処理物に照射するという場合はよいのであるが、集結点からさらに伝送、伝搬させるという場合は不適である。位相が揃っていないしビームの方向も乱れており集結点以後ではバラバラのビームになってしまうからである。

【0007】

(2) 強度変換レンズ・位相補正レンズの組み合わせ

①USP 3, 476, 463 (Justin L.Kreuzer) は中央部が凹レンズで周辺部が凸であるような強度変換レンズ L_1 と、それに相補的な厚みをもつ位相補正レンズを組み合わせた均一光学系を提案している。強度変換レンズによって中央の強度の強い部分を広げ周辺の強度の弱い部分の間隔を狭め強度を一様にして位相補正レンズに入射している。強度はほぼ同一であるが位相は乱れているから位相の遅れた部分は厚く進んだ部分は薄くした位相補正レンズを通すことによって、平行であって位相が揃っており強度も均一のトップハットビームが得られるとしている。

【0008】

位相補正レンズは中央部が凸で周辺部が平面に近いレンズであり、強度変換レンズと相補うような厚みの分布となっている。位相補正レンズの直後では均一強度で平行ビームになっている。平行ビームなのでどこまで伝搬してもビームのエネルギー密度は不変で、いつまでも均一の筈である。

【0009】

①は解析的な計算によって両方のレンズの曲面の厚み分布関数を求めている。入射レーザービームの強度分布がわかれば L_1 、 L_2 の曲面が完全に解析的に決まる。これはビームをある範囲で均一にできるがビームの拡大、縮小というようなことはできない。それに完全にトップハットになっているので、その後均一ビームが伝搬すると位相乱れがおこり均一になった強度分布も崩れてしまう。

【0010】

②特開平10-153750号「レーザビーム整形光学部品」は、拡大縮小が可能であり、しかもトップハット型のビームを与えるような2枚のレンズ系を提案している。前方に強度変換レンズがあり後方に位相補正レンズを設けたところは同じである。しかし拡大縮小を可能とするので強度変換レンズと位相補正レンズの限界半径（均一ビームの半径）でビームはもはや平行でないから解析的に計算することは難しい。

【0011】

そこで波動光学的な手法によってレンズ厚み $L_1(r)$ 、 $L_2(r)$ を仮定して与え第2レンズの通過面での振幅や位相が一定だという結果をもたらすような厚み分布を求めている。位相補正レンズの後面では強度が均一の平行ビームになる。平行なので、どこまでいっても強度は均一だということになる。波動光学の計算は一方向だから結果から逆算できず繰り返し仮定を変更して所望の結果に近くなるような解を求めるようにする。いくつもの解が生ずるが一定の評価基準によって、その内から最適のものを選び出す。

【0012】

計算量は多いがコンピュータを使うのだから、それは問題にならない。従来例①のように真に位相補正ができている訳でないから解がいくつも出るのである。①は位相補正を厳密に行わせるから解は一つしかなかった。しかし従来例②は位相がやはり乱れており乱れも様々なので多様な解がありうる。

【0013】

解が一義的でないのは、所与のレンズ厚み分布からレンズ背面での強度分布へ向かう計算をするからである。①は解析的、②は計算機による経験的な方法である。いずれも非球面レンズを用いて強度変換と位相補正をすることによってトップハットの強度分布を作り出す。①は一義的に解が求まるが非球面レンズであるからレンズの作製はやはり難しい。

【0014】

③Fred M. Dickey, Scott C. Holswade, "Gaussian laser beam profile shaping", Optical Engineering, Vol.35 No.11, November 1996, p3285-3295

これは 2 ～ 3 枚のレンズを用いてガウシアンビームをある範囲で一定強度を有するビームプロファイルに変化させるものである。レンズの組み合わせでトップハット型のビームを得ることができる。

【 0 0 1 5 】

④Frank Wyrowski, "Diffractive optical elements: iterative calculation of quantized, blazed phase structures", J. Opt. Soc. Am. A, Vol.7, No.6, June 1990, p961-969

【 0 0 1 6 】

これは回折型光学部品によってビームを回折し例えば"UNI ESSEN FRG"のような文字を像面に浮かび上がらせるようにしている。

【 0 0 1 7 】

⑤特開 2 0 0 2 - 2 0 2 4 1 4 号「ビーム変換素子、該ビーム変換素子を用いた照明光学系、露光装置、レーザ加工機及び投射装置」

これは 2 枚のホログラム素子を使ってガウシアンビームを均一強度ビームにするような光学系を提案している。

【 0 0 1 8 】

⑥特開平 9 - 6 1 6 1 0 号「バイナリーオプティクス及びそれを用いた集光光学系並びにレーザ加工装置」

これは回折型光学部品によって山形強度分布（ガウシアン）を平坦均一分布のビームに整形するようにしたものを提案している。

【 0 0 1 9 】

⑦USP 6, 4 3 3, 3 0 1 (Dunsky et al.) "Beam Shaping and Projection Imaging with Solid State UV Gaussian Beam to Form Vias"

これはDOEによってガウシアンビームをトップハット型に変換し集光して被処理物に穿孔、加工する装置を提案している。焦点にできるトップハット像をレンズによって被処理物面に集光しているだけである。

【 0 0 2 0 】

⑧特願 2 0 0 2 - 1 4 9 1 0 1 号「レーザビーム整形用レンズとレーザビーム整形用レンズの設計方法」

これはビームの直径を縮小拡大できる一般性を持ち、しかもエッジの急峻な分布をスーパーガウシアンによってなだらかにしておりビームが後方で乱れないようにしている。ビームホモジナイズを極端にしてしまう（トップハット）とかえって後で位相、強度が乱れるので、やや緩やかなホモジナイズとしている。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】

均一強度分布のビームを作り出し、それをDOEなどによって多数の分岐ビームに分割し対象物の多数の点に同時照射して多数点において穿孔、熱処理、加工などを行うのが目的であるから、ある点で一旦均一ビームになったというだけでは不十分である。

【0022】

その均一点より以後で、さらにビームが空間伝搬するのだからビームが広がったり曲がったり位相がずれたりする可能性がある。ビームを回折させて分岐させるということであれば、さらにビームの位相の均一性が強く要求される。

【0023】

しかし前記の従来例②の波動光学的な試行錯誤の計算によるものは決定的な解というものがなくて強度が均一となる基準点より後方では伝搬を重ねて強度分布プロファイルが崩れてしまう。さらに、それを回折によって分岐させると、分岐ビームの強度が一様でないようになる。

【0024】

それは基準点での強度分布があまりに急峻なエッジをもつからであると本発明者は考えた。エッジにおける急激な強度非連続性が基準点以後での回折を引き起こし、強度が乱れるのであろうと思われる。

【0025】

そこで本発明者等はトップハット ($r \leq a$ で 1、 $r > a$ で 0) の代わりにエッジをなだらかにしたスーパーガウシアンを目標ビームの強度分布として採用することにした。ガウシアンは半径 r の 2 乗に比例する項 r^2 が $\exp(-r^2/a^2)$ の中に存在するが、スーパーガウシアンというのは半径 r の n 乗に比例する分布をいう。 $\exp\{-2(r/a)^n\}$ というような分布である。

【0026】

n がスーパーガウシアン次数である。 n が 2 のときガウシアンとなる。 n が無限大でトップハットになる。有限の n と無限大の n の間には大きな飛躍があり、トップハットにしてしまうと、 $r = a$ で急峻な強度変化を生じるため、伝搬とともにビーム形状が急速に崩れてしまうのである。本発明者は n を数十の値としたスーパーガウシアンを目標の強度分布として、エッジをなだらかにすることによって以後の伝搬でのビーム形状の崩れを低減できるということに思い至った。

【0027】

それで目標の均一化ビームをトップハットでなくスーパーガウシアンとしたのが本発明者による改良である。半径 a の円形ビームとせず、 $2a \times 2b$ の矩形のスーパーガウシアンビームとすることもできる。その場合は $\exp \{-2(x/a)^m - 2(y/b)^n\}$ というように二次元の分布関数として表現できる。スーパーガウシアン次数が m 、 n 、サイズは $2a \times 2b$ となるが、煩雑であるから、それらも含めて簡単に半径 a のビームということで以後説明する。また、 $2a \times 2b$ 領域より内側の強度が均一となる領域を均一領域と呼ぶこととする。

【0028】

さて、レンズによってビーム強度を均一にすることができが、それは非球面レンズを用いることが必要でありレンズの製作は容易でないということもある。

【0029】

レンズの場合は非球面レンズであるが曲面は半径 r の連続関数として変化しておりレンズの半径は大きくて回折が起こりにくいからホモジナイズしたときのビームの乱れは小さいのである。ところがレンズでできることは回折型光学部品 (DOE) でもできるはずであり、DOE によってホモジナイズするという選択肢もありうる。

【0030】

DOE の場合は反射型と透過型がある。どちらでも原理は同じようなものでありレンズとの対応で透過型のものを考えることとする。透過型の DOE は厚みを自由パラメータとした縦横に並ぶ一定面積の画素の集合である。それぞれの画素は離散化され、例えば 16 通りとか 32 通りというように何れかの厚みをとるよ

うになっている。

【0031】

例えば凸レンズや凹レンズは同心円状の隆起をもつフレネルレンズによって置き換えることができる。フレネルレンズはアナログ量をデジタル量に置き換え変化領域を画素に置き換えることによって回折型光学部品とすることができる。それと同様にホモジナイズもレンズでなくて、それを置換したDOEによってなすこともできる。

【0032】

DOEによってレーザービームをトップハットにすることもできるはずであり、また本発明者の先願にあるようにスーパーガウシアン（ n が数十）のビームにもすることができるはずである。

【0033】

本発明はDOEによってレーザービームをスーパーガウシアンにした場合を問題にする。スーパーガウシアンを作るDOE自体が本発明の目的でないから、そのようなホモジナイズ用のDOE（ホモジナイザDOEと呼ぶ）の構成についてはつまびらかにしない。

【0034】

そのようなDOEがあるとしてその問題を述べる。レンズによるホモジナイザと違って、ビームを回折させ分岐させ、さらにそれを集結させてエネルギーが均一であるような分布を作る。それはレンズの場合のように位相補正レンズの直後というような決まりはないがDOEによって決まるある一定の距離に均一面がある。ここを基準面と仮に呼ぶ。

【0035】

その後、分岐用の回折型光学部品（DOE）を通し一つのビームを縦横に並ぶ多数の独立したビームに分岐する。分岐ビームをレンズによって集光し対象物（被処理物）面において等間隔に並ぶ多数の縦横スポットに照射するようにする。

【0036】

その場合、一連の光学系はホモジナイザDOE、分岐用DOE、レンズ、対象物というような4つの要素からなる。

【0037】

多数のビームに分けることができるがビームの口径が狭すぎるとその内部での強度分布が分かりにくいので、大きい3～5つの分岐ビームを発生させてスポット内での強度の分布を調べた。そうすると3～5つのスポットにおいて強度が一樣でなく場所によって揺らいでいる事が分かった。

【0038】

その理由を考えてみた。ホモジナイザDOEで基準位置に均一強度のビームが形成されるのであるが、その周辺に必ずノイズ光が発生する。DOEによってビームを分割し回折させてホモジナイズしているから多くのノイズ光が発生する。それは分岐用DOEで同じように回折されて、対象物の目標のスポットへ入る。対象物の目標点では均一ビームとノイズが重なり互いに干渉するため、強度の揺らぎを引き起こす。

【0039】

そのように考えてみれば分岐ビーム強度が不均一となる原因が分かる。

【0040】

そこでノイズ光を遮断するために基準位置にアパーチャマスクを入れてみた。アパーチャマスクは開口部（窓： $2c \times 2d$ ）を有する遮蔽用の板である。開口部直径は当然にビームの外径 a より狭くて、ビームの中央部は通すが、周辺部は遮蔽するような作用がある。アパーチャマスクの開口部はビームが円形であれば、同じく円形でよい。ビームが矩形状であれば、それに合わせて $2c \times 2d$ の矩形状の開口部とすることもできる。窓の大きさを $2c$ 、 $2d$ と言うのは面倒なので、 $2c$ で代表させ、半径 c というように表現する。マスクの窓は基準面におけるスーパーガウシアンレーザビームより狭いので、 $2a > 2c$ 、 $2b > 2d$ であるが、それを簡単に $2a > 2c$ でまとめて表現することにする。

【0041】

アパーチャマスクを基準位置に置くのは、そこでホモジナイズされているからである。レンズによるアパーチャマスクの像が、対象物面に形成される。そのような関係である。

【0042】

窓の周辺部に当たるレーザビームは遮蔽されるから、そこで消滅する。アパーチャマスクの窓によって以後のビームの断面が決定される。

【0043】

ホモジナイザDOEでスーパーガウシアン of 擬均一性ビームを基準位置に作り、そこにアパーチャマスクを置き、それを多数のビームに分岐するための回折型光学部品を使ってビーム分岐し、レンズで集光して被処理物面多数点に照射する。レンズは通常の $f \tan \theta$ レンズでもよいが、 $f \sin \theta$ レンズを使うと対象物面で等間隔にスポットを形成することができる。

【0044】

像面の多数点において穴穿孔、溶接、熱処理、その他の熱的、光学的な処理を同時平行して行うことができる。

【0045】

その場合、処理によっては、被処理物の多数点においてビームの強度が均一ということが要求される。それは、それぞれの処理点における処理の質を同一にするために必要である。個々の処理点において空間的にレーザ強度がばらついていてはいけないのである。

【0046】

上に述べた光学系は単純化すれば、図1に示すように、ホモジナイザDOE 3、アパーチャ4、分岐DOE 5、レンズ6、被処理物（像面）7というものである。スーパーガウシアン of 強度分布となるような擬均一のビームがアパーチャ位置にあり、それが分岐DOEで分岐ビームとなりレンズで多数点のスポットとして集光照射される。アパーチャマスクのレンズ6による像面が被処理物の位置になっている。

【0047】

そのような多点一括処理光学系にも未だ問題があることが分かった。それは次のようなことである。

【0048】

アパーチャマスク4でスーパーガウシアン $\exp \{-2 (r/a)^n\}$ の強度分布をもち半径 a では大体強度は均一になっている筈である。それをより狭い開

口部（直径 $2c$; $2c < 2a$ ）をもつアパーチャマスクで周辺部（ $c < r < a$ ）を除去することになる。アパーチャでの強度の乱れはビームの周辺部（ $r = a$ ）にあり、それをアパーチャマスク（ $r = b$ ）で切って捨てるので良質の部分だけが残ることになる。だから、それが回折され分岐ビームになり対象物の多点に照射されると均一強度の整ったビームになる筈である。良質の部分だけを選び強度や位相の乱れのある部分を排除するのだからマスクによってビームの均一性は上がるはずである。

【0049】

その筈であるが実はそうでないことがわかってきた。そのようにしても、像面でのスポットの強度の空間分布はやはり大きく揺らいでいるという事が分かった。アパーチャマスクを使って基準位置でのビームの一部をカットするので、周辺部 $c < r < a$ の部分の光がカットされることになる。アパーチャでの均一性は上がるのであるが、その後かなりの距離を空間伝送するので、回折現象が顕在化して被処理物面での各スポットの強度は不均一で揺らぎの多いものになったのである。

【0050】

【課題を解決するための手段】

本発明は、レーザ装置で発生したハイパワービームを強度を均一化するホモジナイザと、ホモジナイズされた基準位置に置かれたアパーチャマスクと、均一化されたビームを分岐する分岐用 DOE と、分岐ビームを集光するレンズと、被処理物よりなる系において、アパーチャマスクの開口部直径 $2c$ をビーム直径 $2a$ より狭くするのではなくて、より広くする（ $2c > 2a$ ）。全くアパーチャマスクがないというのではなくて、アパーチャマスクは存在するのであるが、窓の面積がその位置に存在するビームの実効断面積より大きいものにするということである。

【0051】

ホモジナイザを経たレーザビームが半径 a のスーパーガウシアンビームだとすると、窓は半径 c の円形窓として、ビーム半径より大きいものとする。 $c > a$ である。直径でいえば $2c > 2a$ である。窓の方がビームより広いということが重

要である。

【0052】

ホモジナイザを経て矩形 ($2a \times 2b$) のスーパーガウシアンビームとなっている場合は、アパーチャマスクの開口部を矩形としても良いが ($2c \times 2d$)、その場合でも、窓 ($2c \times 2d$) はビーム ($2a \times 2b$) より広いものとする。 $2c > 2a$ 、 $2d > 2b$ というような制限を課すこととするのである。

【0053】

窓 (開口部) があまりに広すぎても意味がない。広すぎるとマスクがないのと同じだからである。ホモジナイザDOEによって窓とビームの間隙の許容最大値は変動するのであるが、窓の寸法は、大体ビーム径の2倍より小さいことが必要である。

【0054】

つまりホモジナイズされたものが半径 a の円形ビームであれば、アパーチャマスク窓の半径 c は

【0055】

$$a < c < 2a$$

【0056】

の程度である。ホモジナイザDOEでホモジナイズされたものが $2a \times 2b$ の矩形ビームであれば、アパーチャマスク窓 ($2c \times 2d$) は

【0057】

$$2a < 2c < 4a \quad , \quad 2b < 2d < 4b$$

というような制限がある。

【0058】

【発明の実施の形態】

透過材料が存在する熱加工用のハイパワーレーザの全てに本発明を利用できる。例えば、

【0059】

炭酸ガスレーザ (CO_2) 波長 $9 \mu\text{m} \sim 11 \mu\text{m}$

固体レーザ 波長 $200 \text{nm} \sim 1100 \text{nm}$

【0060】

などである。

【0061】

DOEは透過型だから、その波長に対して透明な材料を用いる必要がある。炭酸ガスレーザの $10.6\mu\text{m}$ の場合はZnSeをDOE、レンズの材料とする。YAG第2高調波(532nm)の場合は石英をDOE、レンズの材料とすることができる。

【0062】

アパーチャマスクは不透明の材料であるから金属、セラミック板を用いることができる。

【0063】

本発明のアパーチャマスクはビームの中まで切り込まず、周辺部をカットするというものでありその原理は分かりにくい。実施例によってその作用を述べるがそれに先立ち、図19、20によってその作用を述べる。

【0064】

図19はホモジナイザDOEによってアパーチャマスクの位置において形成する強度分布を示す。長さ $2a$ においてほぼ一定の強度分布をもつが、エッジの外側にも微小なノイズをもつ。それはDOEによるからどうしても発生するものである。

【0065】

図20は図19の強度分布のエッジの部分拡大した分布図である。図20において、縦線X-Xより右がエッジ部分と均一ビーム中心部で、左がビーム外部分(ノイズ領域)である。ノイズ領域の僅かな光はアパーチャマスク位置では均一ビームの外にあるが、その後の分岐によって均一ビームが像面上に複数並べられると、それぞれの均一ビームの外側にあるノイズが均一ビームと重なり合うことで互いに干渉し、均一性を低下させるのである。

【0066】

そこで本発明は縦線X-Xより左側のノイズ領域を遮蔽するためにビームよりやや広い窓のアパーチャマスクを置く。その目的は図20のノイズ領域のノイズ

を遮断することである。アパーチャマスクでノイズ光を除去しておくともノイズ光がビーム中心に入って分布を乱すというようなことはない。開口部の有効な範囲はDOEに依存して決まる。DOEがノイズをビームの外側のどの範囲に生成するのか？ということによる。一概にいえませんが、ビーム寸法の2倍程度に大体ノイズは収まるのでマスク開口部の寸法の最大はビーム寸法の約2倍程度である。

【0067】

そのような広開口部でなく狭開口部のマスクを使つたとすると、図20でY-Yの部分より左の部分のカットすることになる。その部分はアパーチャマスクでは端にあるが、それは必要な部分であつてカットしてしまうと以後の伝搬において悪影響が出る。トップハットでは以後の伝搬によってかえつてビームの強度分布が乱れるということを先に述べた。トップハット ($r \leq a$ で1、 $r > a$ で0) は良いようであるがエッジが急峻であるから以後の光の伝搬で強い回折を伴いビームプロフィルが大きく乱れる。

【0068】

トップハットでなく、スーパーガウシアンにしてエッジを滑らかにしたのは以後の伝搬によつても回折が強く起こらずビーム乱れが起こらないようにするためである。ところが狭開口部のマスク (Y-Yカット) を使つてしまえば、苦心のスーパーガウシアンのエッジの部分を全く排除することになってしまう。スーパーガウシアンによるビーム形状保持効果がなくなってしまうのである。だから狭開口部のマスクを使つてはならない。実際狭開口部マスクを使うとエッジ分布にオーバーシュートが出現する。そのようなわけで、本発明のマスクは図20のX-Xのようなところに窓の縁があり、外側のノイズ光を遮断するようになっている。

【0069】

次に以下の説明で必要になる用語の幾つかの定義について述べる。

[注1：ホモジナイザの回折効率の定義 (図18)]

ホモジナイザDOEの回折効率は図18に示すような強度分布において、最大強度を100%とした場合の強度が1%以上の領域のエネルギーの割合ということであり、入射エネルギーに対する比率で表す。

【0070】

[注2：分岐DOEの分岐強度均一性の定義]

分岐強度均一性の上限、下限は、平均強度、最大強度、最小強度を用いて次のように定義する。

【0071】

【数1】

$$\text{均一性上限} = \frac{(\text{最大強度} - \text{平均強度})}{\text{平均強度}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{均一性下限} = \frac{(\text{最小強度} - \text{平均強度})}{\text{平均強度}} \times 100 \quad (\%)$$

【0072】

[注3：分岐DOEの最大ノイズ強度]

分岐DOEの最大ノイズ強度は、分岐光平均強度に対する、最大ノイズ強度の割合として計算する。

【0073】

[注4：ホモジナイザDOEの強度均一性の定義]

均一性の上限、下限は、均一領域における平均強度、最大強度、最小強度を用いて次のように定義する。

【0074】

【数2】

$$\text{均一性上限} = \frac{(\text{最大強度} - \text{平均強度})}{\text{平均強度}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{均一性下限} = \frac{(\text{最小強度} - \text{平均強度})}{\text{平均強度}} \times 100 \quad (\%)$$

【0075】

【実施例】

YAG第2高調波を光源とする実施例、比較例を述べる。実施例ではホモジナ

イズビームより少し大きい開口部のアパーチャマスクをホモジナイズDOE焦点距離に置く。

【0076】

比較例1ではアパーチャマスクを設けない。比較例2ではホモジナイズビームより小さい開口部のアパーチャマスクをホモジナイズDOE焦点距離に置いている。

【0077】

[1. 実施例 (アパーチャマスク開口部が少し大きい場合; 図4~11)]

1. レーザビーム (ホモジナイズDOE入射位置で)

波長: $\lambda = 532 \text{ nm}$ (YAGレーザ第2高調波)

ビーム径: $\phi 2 \text{ mm}$

発散角: 0 mrad (平行光)

モード: TEM₀₀

【0078】

2. ホモジナイズDOE

回折効率: 95.92%

ピクセルサイズ: $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$

位相段数: 16段階 (各段の段差は図2に示す)

ピクセル数: 800セル \times 800セル

基板材質: 合成石英 (屈折率 $n = 1.46 @ \lambda = 532 \text{ nm}$)

基板サイズ: $\phi 50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm t}$

焦点距離: 70 mm (焦点位置での強度分布形状は図5の通り)

形状: 1.2 mm ($1/e^2$ 径) \times 0.6 mm ($1/e^2$ 径)

均一領域: $1.0 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$

スーパーガウシアン次数: 30次 \times 30次

両面ARコート付き (透過率99%以上)

(つまり、 $2a = 1.2 \text{ mm}$ 、 $2b = 0.6 \text{ mm}$ 、 $m = 30$ 、 $n = 30$ 、 $f1 = 70 \text{ mm}$ 、 $h = 16$ ということである。)

【0079】

3. アパーチャマスク

サイズ: $1.365\text{ mm} \times 0.735\text{ mm}$

(つまり $2c = 1.365\text{ mm}$ 、 $2d = 0.735\text{ mm}$ ということであり、 $a < c$ 、 $b < d$ である。)

【0080】

4. 分岐DOE

回折効率: 67.5%

均一性: 上限+0.71%、 下限-1.18%

最大ノイズ強度: 5.8% (シグナル平均比)

位相段数: 16段階 (各段の段差は図2と同じ)

ピクセルサイズ: $5\text{ }\mu\text{m} \times 5\text{ }\mu\text{m}$

ピクセル数 (1周期): 32セル \times 32セル

基板材質: 合成石英 (屈折率 $n = 1.46 @ \lambda = 532\text{ nm}$)

基板サイズ: $\phi 50\text{ mm} \times 5\text{ mm t}$

両面ARコート付き (透過率99%以上)

分岐数: 3分岐

分岐ピッチ: 0.321mmピッチ ($f_2 = 80\text{ mm}$ の場合)

各分岐光サイズ: 0.24 mm ($1/e^2$ 径) \times 0.12 mm ($1/e^2$ 径)

【0081】

5. レンズ

焦点距離: $f_2 = 80\text{ mm}$

有効径: $\phi 25\text{ mm}$

基板材質: 合成石英 (屈折率 $n = 1.46 @ \lambda = 532\text{ nm}$)

基板サイズ: $\phi 30\text{ mm} \times 3\text{ mm t}$

転写倍率: $-1/5$

【0082】

6. 光路図

図3の通りに上記の光学部品を直線上に配置した。ホモジナイザDOE3とアパーチャマスク4間は70mm、アパーチャマスク4と分岐DOE5間は400

mm、分岐DOE 5とレンズ6の距離は80 mm、レンズ6と像面7の距離は96 mmである。

【0083】

YAGレーザは $1.06\text{ }\mu\text{m}$ の波長で発振するが、ここではもっと短い波長が必要な処理を対象とするので第2高調波 $\lambda = 532\text{ nm}$ を用いている。それは可視光であるから石英レンズを使うことができる。 532 nm に対する屈折率が1.46の合成石英をレンズや透過型DOEの材料として用いている。DOEの場合は全段差が1波長分に対応するようにする。段差の数を h とすると、一つの段差は $\lambda/h(n-1)$ である。一つの段差は 72.2 nm であり、全段差は 1154.7 nm である。かなり大きい段差になるが、それは石英の屈折率が小さいからである。

【0084】

本発明は炭酸ガスレーザにも用いることができる。その場合発振波長は $\lambda = 10.6\text{ }\mu\text{m}$ となるので、レンズはZnSeということになる。ZnSeは $n = 2.4$ と高いが、波長が長いので1波長差に対応する段差 $\lambda/h(n-1)$ はもっと大きくなる。

【0085】

ホモジナイザDOEの位置においてレーザビームは平行ビームであり直径は2 mmのビームとなっている。それは $(1/e^2)$ に減衰した位置で測定した直径である。

【0086】

ホモジナイザDOEは、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 角のセルが800個 \times 800個で分布するので、全体で4 mm \times 4 mmのサイズとなる。石英基板は50 mm ϕ で5 mm厚であり、その中央部に微細凸凹構造パターンを作製している。ホモジナイザDOEの焦点距離 f_1 というのはホモジナイザDOEが集光作用をもちアパーチャマスクの位置に像を結ぶということである。DOEは回折部品であるからフラウンホーファー型（フーリエ変換だけ）のものもあるがレンズと組み合わせたフレネル型（フーリエ変換+レンズ）のものもある。ホモジナイザDOEとしては凸レンズの作用を兼ね備えたDOEとしているということである。

【0087】

ホモジナイザは円形ビームを矩形ビームとするものであり、スーパーガウシアン関数が $\exp \{ -2 (x/a)^m - 2 (y/b)^n \}$ と書けるのであるが、 $2a = 1.2 \text{ mm}$ 、 $2b = 0.6 \text{ mm}$ の矩形断面のスーパーガウシアンビームとしているのである。測定の位置が $(1/e^2)$ というのは中心部に比較して強度がそれだけ低下した位置ということで上の式の a 、 b ($1/e^2$ の半径) に等しい。スーパーガウシアンの次数は $m = n = 30$ である。また、均一領域は $1.0 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ とする。

【0088】

DOE は石英で作ると、 1.4 程度の屈折率をもつから、そのままだと $| (n-1) / (n+1) |^2$ 程度の反射損失が生じる。ホモジナイザ DOE の両面に AR (反射防止膜) を付けるのはレーザービームが DOE の表面、裏面で反射し損失になるのを防ぐためである。両面に AR 被覆したので透過率を 99% 以上にすることができる。

【0089】

アパーチャマスクの開口部は $2c \times 2d = 1.365 \text{ mm} \times 0.735 \text{ mm}$ とする長方形の窓である。スーパーガウシアンレーザービームの像面 (アパーチャマスク面) でのサイズが $2a \times 2b = 1.2 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ であるのだから、窓の方がビーム断面より広い。 $1.365 \text{ mm} > 1.2 \text{ mm}$ 、 $0.735 \text{ mm} > 0.6 \text{ mm}$ というように隙間が 0.1 mm 程度あるようになっている。

【0090】

つまりアパーチャマスクはビームの周辺部をマスクしない。マスクはビームを遮らないのである。ここが重要な所である。初めにアパーチャマスクがないといけないと述べた。しかし狭い窓をもつアパーチャマスクでビームの周辺部を遮断するのでもない。ビームの外側に遮蔽部があるようなマスクなのである。ビームを遮らないマスクに何の意味があるのか? そのようなことも問題となろう。それについては後に述べる。

【0091】

分岐 DOE は、やはり合成石英で作製した。大きさは 50 mm 直径であり厚み

は5mmである。ピクセルサイズが $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ である。大きさ、ピクセルサイズともにホモジナイザDOEと同じである。しかし、これは分岐用のDOEなのでユニットパターンというものの繰り返しになっている。

【0092】

ユニットパターンの1周期 Λ が32セル \times 32セルということである。 $\Lambda=160\mu\text{m}\times 160\mu\text{m}$ である。有効径はホモジナイザDOEと同じように、800セル \times 800セル $=4\text{mm}\times 4\text{mm}$ である。それは $25\times 25=625$ 個のユニットパターンを含むDOEである。つまりユニットパターンは1024個のセルを含み、DOEは625個のユニットパターンを含む。ユニットパターンのサイズ Λ が回折角($\sin\theta=m_j\lambda/\Lambda$; m_j は整数で回折の次数)を決める。

【0093】

これもARコートしてありそのために透過率が99%以上になっている。分岐数は3で、ピッチは0.321mmピッチ($f_2=80\text{mm}$ の場合)としている。これは実験だから3分岐としているが、実際の応用では幾つもの分岐を設けることができる。分岐ビームの断面も矩形状であり、 $0.24\text{mm}\times 0.12\text{mm}$ とする。アパーチャマスクでのビーム断面の約1/5に縮小している。

【0094】

レンズは同じ合成石英で作製した。大きさは $30\text{mm}\phi$ 、3mm厚みであるが、有効径は $25\text{mm}\phi$ である。焦点距離は $f_2=80\text{mm}$ とした。

【0095】

図4はホモジナイザDOE(800セル \times 800セル)の位相の変化を白黒の濃淡で示している。ホモジナイザDOEは $50\text{mm}\phi$ であるが枠構造は回折に無関係だからセルのある800 \times 800セル($4\text{mm}\times 4\text{mm}$)の部分だけを示す。位相の変化というのは厚みの変化ということである。実際には16段階のデジタル値を取るのであるが、ここでは濃淡で表した。

【0096】

一つの縞が16段階の変化を示し、白縞から白縞までが合わせて32段階分の変化に対応する。縞は厚みの等高線であり、一つの縞から縞が $\lambda/(n-1)$ の厚み変化を表す。同時にそれは透過光の位相の変化ということもでき縞から縞が

360度の位相の変化を示すのである。

【0097】

DOEであってレンズではないから直観的な構造を濃淡画像から読み取ることができない。ホモジナイザDOEは強度変換レンズ作用をもつ。定性的なことをいえば中央の歪んだ同心円がビームを狭める凸レンズのような機能をもつ。2 mm ϕ の広い円形ビームを縦方向に0.6 mm、横方向に1.2 mmに縮めるのであるから、縦方向の凸レンズ作用の方が強く、それが密につまった縞となって現れる。

【0098】

横方向にも凸レンズ作用する部分があるが、それは少し弱いので縞の間隔が広くなっている。楕円状の同心円の集合となっているのは縦横の比が1:2というように等方的でないからである。

【0099】

このDOEはガウシアンビームをスーパーガウシアンに変化させるだけでなく、2 mm直径を1.2 mm、0.6 mmに縮めるから集光作用があり、それが $f_1 = 70$ mmという凸レンズの作用をもたらす。

【0100】

図5はアパーチャマスクの位置における、ビームの強度分布である。白黒の濃淡ある画像なのであるが、エッジで急峻な変化をするスーパーガウシアンビームなので一様矩形断面のビームに見える。図5においてビーム断面横は $2c = 1.2$ mm、縦は $2d = 0.6$ mmである。横方向をx軸、縦方向をy軸とする。

【0101】

図6はアパーチャマスクの位置における、ビームの横方向（x方向）の強度分布の測定値である。横軸はx方向の座標である。縦軸は強度（任意目盛り）である。横軸の広がり大きくて $-500\ \mu\text{m} \sim +500\ \mu\text{m}$ の間の強度はだいたい一様である。先述のように回折効率95.92%である。場所によってビーム強度に多少のばらつきがある。

【0102】

x軸上で、 $-600\ \mu\text{m}$ より左、 $+600\ \mu\text{m}$ より右にはノイズが少しあるの

であるが、このスケールでは殆ど見えない程度である。横方向には $2\text{ mm} \rightarrow 1.2\text{ mm}$ に縮小し周辺部の強度を 1.2 mm の近傍へ集めただけであるから DOE はあまり無理をしていない。図 4 の同心円の構造を見ても横方向 (x 方向) の縞はそれほど密ではない。だから側方にノイズが殆ど出てこない。

【0103】

図 7 はアパーチャマスクの位置における、ビームの縦方向 (y 方向) の強度分布の測定値である。縦方向の広がり $2d = 600\text{ }\mu\text{m}$ の程度で横の半分だから横軸は図 6 の 1.5 倍に拡大している。縦方向は $-250\text{ }\mu\text{m} \sim +250\text{ }\mu\text{m}$ で均一強度分布をもっている。しかし、それだけでなく、 $-400\text{ }\mu\text{m} \sim -600\text{ }\mu\text{m}$ 、 $+400\text{ }\mu\text{m} \sim +600\text{ }\mu\text{m}$ のあたりにノイズが現れている。

【0104】

それは図 4 の DOE の厚み分布図 (位相分布) において縦方向の縮小比率が大きいので $300\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ (元のビーム半径は $1000\text{ }\mu\text{m}$) のあたりでの集光作用が強い。レンズであれば回折がないので強くビームを曲げるだけですむのであるが DOE の場合は回折によってビームを曲げるので所望の方向に曲がるもの以外に不要な部分に回折される成分がある。それは仕方のないことでありレンズと DOE は全く等価というわけにいかないのである。

【0105】

例えば凸レンズをフレネルレンズにすると、縞の間隔が周辺に行くに従って狭い同心の縞状のレンズとなる。個々の縞の面は傾斜面であり屈折光が定義でき元の凸レンズと作用はあまり変わらない。フレネル型にしたのでエッジが同心状に生じ、そこからの回折光も相加される。縞のエッジの位相差を 2π とするので屈折光も回折光も同じ焦点距離の凸レンズ作用をもつ。それからさらに進んでフレネル型レンズを回折型光学部品で置き換えると面が傾斜面でなくて階段状となり複数の次数に回折光が発生する。

【0106】

回折型光学部品は元の凸レンズと等価の集光作用をもつように厚み分布が決められているのであるが、それは 1 次回折光のことであって、0 次光や -1 次回折光が新たに発生する。0 次光は直進する光であって通常の屈折型レンズにはない

ものであるが回折型光学部品にはつきものである。

【0107】

そのようなわけで回折型光学部品の場合は不要な0次光、-1次回折光が生ずる。直進する0次光は0.6mmを超えるDOE部分でも存在するから、それがノイズとして現れる。-1次光は発散光となって広い領域にノイズとなって現れる。それらのノイズは+1次光（所望の回折光）によって打ち消すことができない。±400 μ m～±600 μ mのノイズはそのような原因で発生する。x方向よりもy方向にそれが強く現れるのはy方向での集光（2mm→0.6mm）がより強いからである。

【0108】

そのようなノイズ光をカットするために本発明はアパーチャマスクを設けるのである。それは先に述べた通りである。本発明の骨子はそこにあるのだから、それで終わりなのである。しかしそれだけではまだノイズカットの可能な理由が判然としない。だから本発明が対象とする光学系の全体を最後までさらに述べる。

【0109】

図1、図3の光学系において所望の矩形スーパーガウシアンビームに整形された1本のビームは、さらに分岐DOE5で所望方向、所望本数の分岐ビームに分割される。それはいくつでもよいのであるが、ここでは説明用の実験だからx方向に3つのビームに分割することにする。ビーム数をもっと多くできる。しかし強度バラツキの問題はいくつであっても同じことである。

【0110】

分岐DOEは図8に示すような位相パターンのユニットパターンの繰り返しとなった。DOEだから実は厚みのパターンなのであるが、透過光の位相が0度～360度の変化をするように16段階に分けたものであり、位相差のパターンとも言えるし厚みのパターンとも言える。白縞から白縞までの位相差が360度である。そのような事情はホモジナイザDOEでも分岐DOEでも同じことである。

【0111】

図8は分岐DOEのユニットパターン一つ分であり32セル×32セルのパタ

ーンである。右下に見える白角が1セルである。DOEは同一のユニットパターンを 25×25 個縦横に並べたものである。中央に広い白地があって、その内部に細かい刻点が見える。それは0～360度の中間の位相をもつ部分ということを示している。

【0112】

ユニットパターンは 32×32 セルあるので、ユニットパターンを多数含むDOEによる像面での回折点はやはり 32×32 の構造をもつ。ユニットパターンのフーリエ変換が像面での強度を示す。像面への回折強度がユニットパターンのフーリエ変換としFFT（高速フーリエ変換）によって簡単に計算できる。

【0113】

そのような周期性を考慮に入れ図8を見て分かるが、図4のホモジナイザDOEと図8の分岐DOEは著しく異なるパターンである。ホモジナイザDOEはレンズを兼ねていたので同心円が多数出現したのである。しかしこの実施例の分岐DOEはレンズ作用をもたないフラウンホーファー型（フーリエ型）のものだから同心円は存在しない。分岐ビームを生成するだけで全体としての位相差は360度あれば充分だから何重もの縞模様は存在しない。単に3つの分岐ビームを作るのであるが分岐DOEのユニットパターンにはいくつもの解が存在する。図8はユニットパターンの一例に過ぎない。

【0114】

図9は3つの像面でのx方向に並ぶ分岐ビームを示す。図10はx軸に沿う3本の分岐ビームのx軸上の強度分布の測定結果を示す。x軸に沿って回折光の強度を実際に測定したものである。図11は中央のビームのx軸に沿った回折光強度を横方向に拡大したものである。0.2mm×0.1mmの均一領域での上限7.95%、下限-5.30%というような揺らぎの少ない強度分布をしている。

【0115】

図9～図11は本発明の3つの分岐光のx軸に沿った強度の変化を示すが、スーパーガウシアンのエッジがそのまま現れている。中間部で強度の揺らぎがあるが、それは上下合わせて13%の程度である。だから優れた品質の分岐ビームだ

ということが出来る。

【0116】

[2. 比較例1 (アパーチャマスクがない場合; 図12~14)]

しかし、それだけでは本発明のアパーチャマスクの効果はハッキリしない。アパーチャマスクのない場合の分岐ビームの強度揺らぎ、アパーチャマスクがあってもアパーチャマスクが小さくてスーパーガウシアンビームの周辺部を遮蔽するような窓を持つ場合と比較する必要がある。

【0117】

図12~14はアパーチャマスクがない場合の像面での分岐ビームの像と、3つの分岐ビームのx軸上での強度の分布を計測したものを示す。図1、3の光学系においてアパーチャマスクが存在しない場合である。

【0118】

その他の構造は実施例と同じである。像面において $1/e^2$ 径で $0.24\text{ mm} \times 0.12\text{ mm}$ の矩形状の領域3つに分岐ビームが照射されている(図12)。図13にその3つの部分での分岐ビームの空間的な強度分布の計測結果を示す。強度分布にギザギザが多くて大きく揺らいでいるということがわかる。図14は中央の分岐ビーム領域の強度分布グラフを横に拡大したものである。図11と比べてみると大きく強度分布が脈動し変動が著しいということが分かる。 $0.2\text{ mm} \times 0.1\text{ mm}$ の均一領域での揺らぎの上限は 18.31% 、下限は -16.03% である。

【0119】

[3. 比較例2 (アパーチャマスク開口部が小さい場合; 図15~17)]

本発明はアパーチャマスクの窓が広くて強度変換されたビームを全部通すようなサイズになっている。ビームの寸法を $2a \times 2b$ として、アパーチャ窓の寸法を $2c \times 2d$ としたとき $2c > 2a$ 、 $2d > 2b$ である。

【0120】

その条件を満足しない、より狭い窓のアパーチャを使って同様の回折実験をした。図1、図3の光学系でアパーチャマスクだけが少し違う。窓の寸法は $1.0\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ である。スーパーガウシアンにした矩形ビームは $2a \times 2b =$

1. $2\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ であるから、約20%縦横に狭いということである。周辺部の $0.05\text{ mm} \sim 0.1\text{ mm}$ の部分の光がアパーチャマスクの遮蔽部によって遮られる。強度変換したビームのうち良質の内側の部分だけを使うのでそれが最適のように思われる。しかし実はそうでない、ということを明らかにするために狭い窓のアパーチャマスクの場合を実験したのである。

【0121】

図15はその場合の3つの分岐ビームの照射領域を示す。 $1/e^2$ のエネルギーを含むサイズは $0.24\text{ mm} \times 0.12\text{ mm}$ でx軸上に3つの領域が並んでいる。それは実施例、比較例1と同様である。

【0122】

図16はx軸上の3つの分岐ビームの強度変化の計測値を示すグラフである。まず気が付くことはエッジの部分で強いパワーの突出（オーバーシュート）があるということである。それは三つの領域の両側の6点において共通して見られる特徴である。

【0123】

中間部での光量は安定しており揺らぎは少ない。しかしエッジの揺らぎが大きいもので、 $0.2\text{ mm} \times 0.1\text{ mm}$ の均一領域での強度の揺らぎは上限+15.11%、下限-13.04%である。

【0124】

それは、つまりこういうことである。ホモジナイザDOEによって $1.2\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ の強度が一定のスーパーガウシアンビームを生成したがマスクを焦点位置に設けてビームの周辺部を落としているのでスーパーガウシアンの特徴であるなだらかなエッジの部分が消失しているのである。ビーム領域の長さが短くなっているのもアパーチャマスクの窓で両側が削られるからである。オーバーシュートが起こるのは、マスク窓の外側のビームが存在して初めてパワーが打ち消される部分がそれがないため打ち消されずに残り、それが強度をエッジで上昇させているのである。

【0125】

【発明の効果】

ガウシアン分布など一様でない強度分布をもつレーザビームをホモジナイザDOEによってある範囲でほぼ一様な強度分布をもつスーパーガウシアンビームとし、その焦点距離位置にビーム径よりも広い窓をもつアパーチャマスクを設け、それを通ったビームをさらに分岐DOEによって適当な数の分岐ビームにするようにしたのが本発明のホモジナイザ光学系である。スーパーガウシアン分布になるよう強度をある範囲で一定にするホモジナイザをDOEで構成するというのはこれまで類例がない。

【0126】

レンズと違って回折光があるので余分な回折光によって分岐後のビームの強度が乱れることがある。本発明はホモジナイザDOEの焦点位置にビームより広い窓をもつアパーチャマスクをおいてビームの外延にある光を遮断するようにしている。それがスーパーガウシアンの特性を生かしつつ余分の回折光を排除するという作用をもち分岐DOEによって分岐したビームはある範囲で一様な強度をもち揺らぎは少ないしエッジでのオーバーシュートもない。アパーチャマスクを焦点距離位置に置くというだけであるが、その効果は優れている。

【図面の簡単な説明】

【図1】

ホモジナイザ、アパーチャマスク、分岐DOE、レンズ、像面を含む本発明のホモジナイザ・分岐ビーム光学系の概略構成図。

【図2】

ホモジナイザDOE、分岐DOEのセルの16段階の厚みの変化を示す図。一つのステップは72.2nm、全ステップの高さは1154.7nmである。

【図3】

ホモジナイザ、アパーチャマスク、分岐DOE、レンズ、像面を含む本発明の実施例におけるホモジナイザ・分岐ビーム光学系の概略構成図。

【図4】

800×800セルよりなるホモジナイザDOEの16段階の厚み（位相）変化の分布を示す図。

【図5】

ホモジナイザDOEによって1.2mm×0.6mmのスーパーガウシアンビームに整形したビームのアパーチャマスク位置でのビーム強度分布図。

【図6】

ホモジナイザDOEによって1.2mm×0.6mmのスーパーガウシアンビームに整形したビームのアパーチャマスク位置でのx軸方向の強度分布グラフ。

【図7】

ホモジナイザDOEによって1.2mm×0.6mmのスーパーガウシアンビームに整形したビームのアパーチャマスク位置でのy軸方向強度分布グラフ。

【図8】

3つの分岐ビーム領域を生成するための実施例にかかる分岐DOEの32×32セルからなるユニットパターンの16段階の位相（厚み）分布の図。

【図9】

スーパーガウシアンビームをビームより広い窓をもつ実施例にかかるアパーチャマスクに通し分岐DOEによって生成された0.24mm×0.12mmの大きさの3つの分岐ビームの像面での像。

【図10】

スーパーガウシアンビームをビームより広い窓をもつ実施例にかかるアパーチャマスクに通し分岐DOEによって生成された0.24mm×0.12mmの大きさの3つの分岐ビームのx軸上での強度分布の測定結果を示すグラフ。

【図11】

スーパーガウシアンビームをビームより広い窓をもつ実施例にかかるアパーチャマスクに通し分岐DOEによって生成された0.24mm×0.12mmの大きさの3つの分岐ビームのうち中央のビームのx軸上での強度分布の測定結果を拡大して示すグラフ。

【図12】

スーパーガウシアンビームを、アパーチャマスクに通さず分岐DOEによって生成した0.24mm×0.12mmの大きさの3つの分岐ビームの像面での像。

【図13】

スーパーガウシアンビームをアパーチャマスクに通さず分岐DOEによって生成した0.24 mm×0.12 mmの大きさの3つの分岐ビームのx軸上での強度分布の測定結果を示すグラフ。強度分布の揺らぎが大きい。

【図 1 4】

スーパーガウシアンビームをアパーチャマスクに通さず分岐DOEによって生成した0.24 mm×0.12 mmの大きさの3つの分岐ビームのうち中央のビームのx軸上での強度分布の測定結果を拡大して示すグラフ。

【図 1 5】

スーパーガウシアンビームをビーム径より狭い窓をもつアパーチャマスクに通し分岐DOEによって生成した0.2 mm×0.1 mmの大きさの3つの分岐ビームの像面での像。

【図 1 6】

スーパーガウシアンビームをビーム径より狭い窓をもつアパーチャマスクに通し分岐DOEによって生成した0.2 mm×0.1 mmの大きさの3つの分岐ビームのx軸上での強度分布の測定結果を示すグラフ。

【図 1 7】

スーパーガウシアンビームをビームより狭い窓をもつアパーチャマスクに通し分岐DOEによって生成した0.2 mm×0.1 mmの大きさの3つの分岐ビームのうち中央のビームのx軸上での強度分布の測定結果を拡大して示すグラフ。

【図 1 8】

ホモジナイザ回折光の効率の定義を示すためのホモジナイザ後のビームの強度分布を示すグラフ。

【図 1 9】

ホモジナイザDOEによってアパーチャマスクの位置において形成されるビームの強度分布を示すグラフ。

【図 2 0】

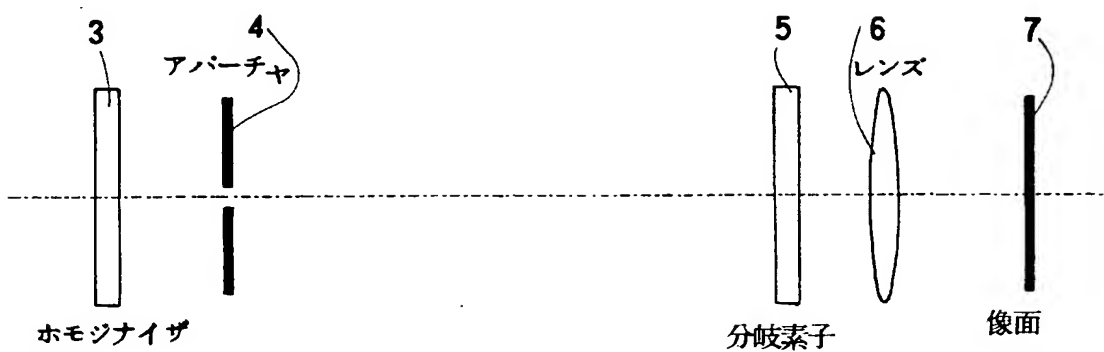
図 1 9 のビーム強度分布の点線で囲まれたエッジの部分の拡大したビーム強度分布図。

【符号の説明】

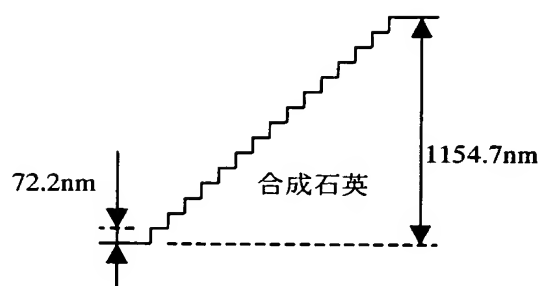
- 3 ホモジナイザ D O E
- 4 アパーチャマスク
- 5 分岐 D O E
- 6 レンズ
- 7 像面

【書類名】 図面

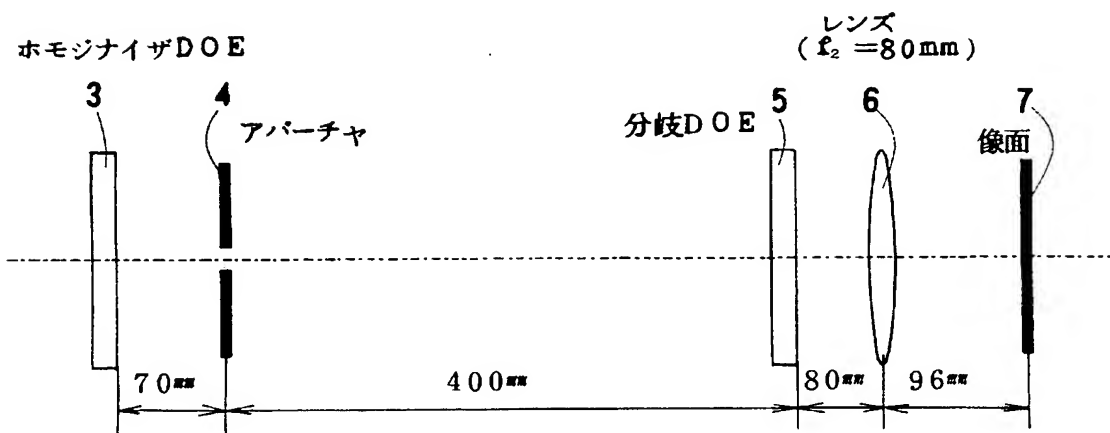
【図1】



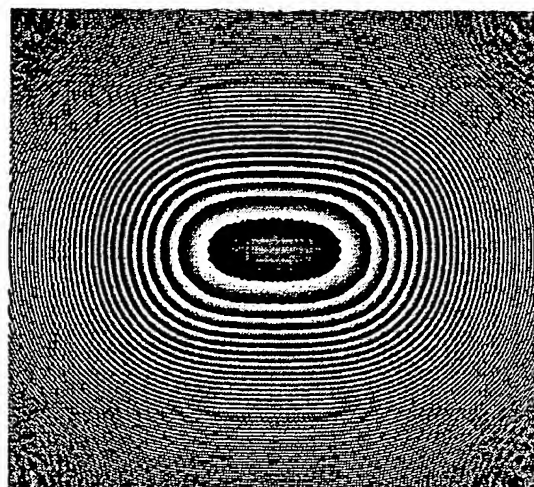
【図2】



【図3】



【図4】

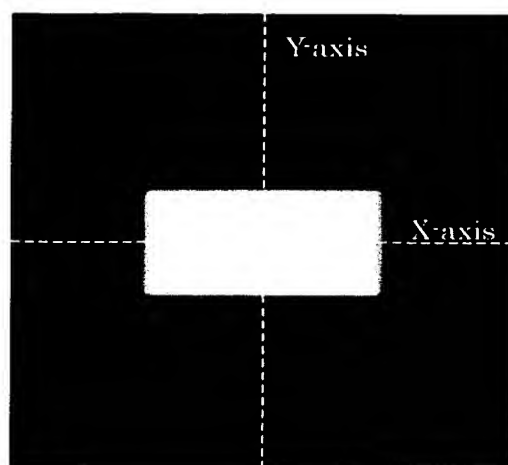


ホモジナイザ DOE 位相

BEST AVAILABLE COPY

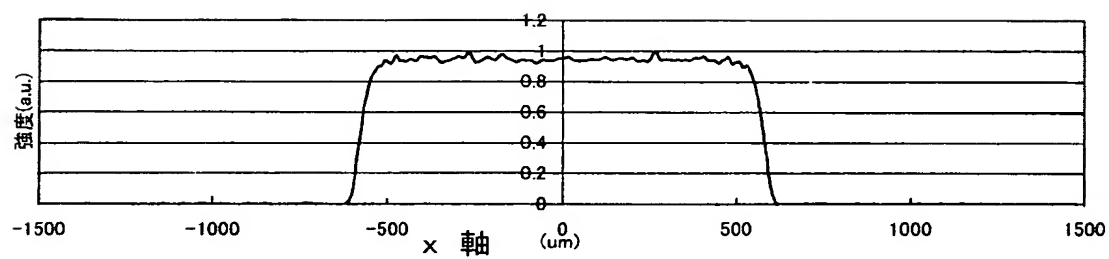
BEST AVAILABLE COPY

【図5】

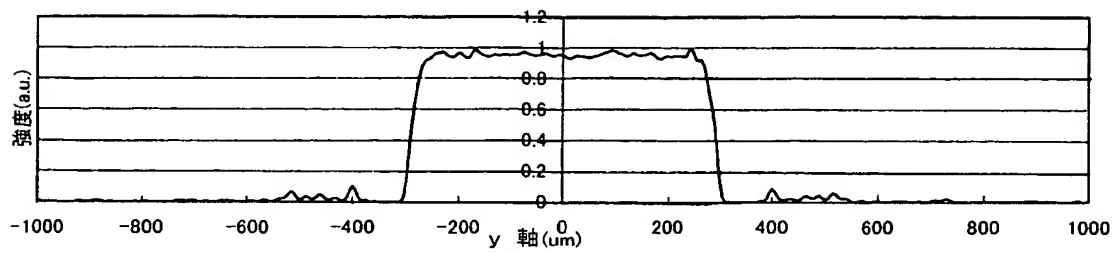


アパーチャ位置強度分布

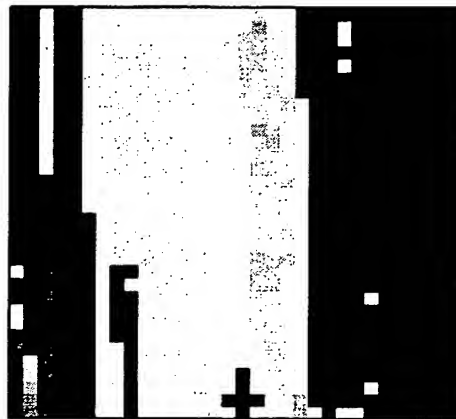
【図6】



【図7】



【図8】

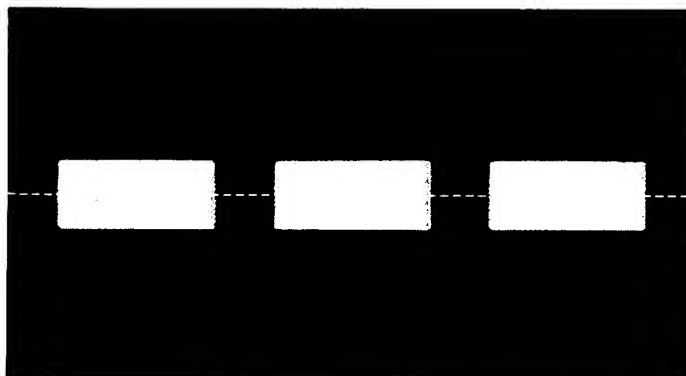


分岐 DOE 位相(1 周期)

BEST AVAILABLE COPY

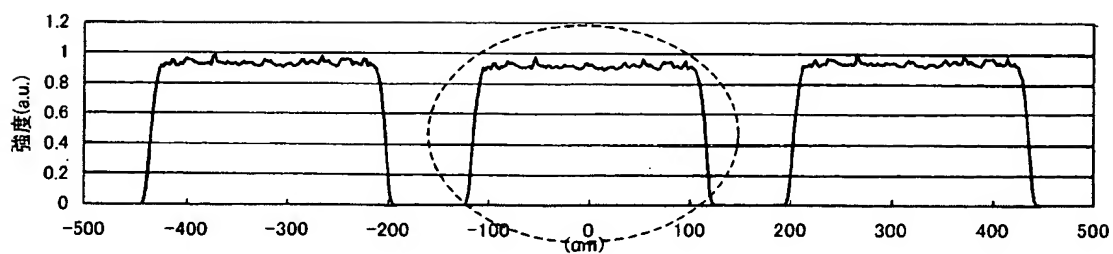
REPRODUCIBLE

【図9】

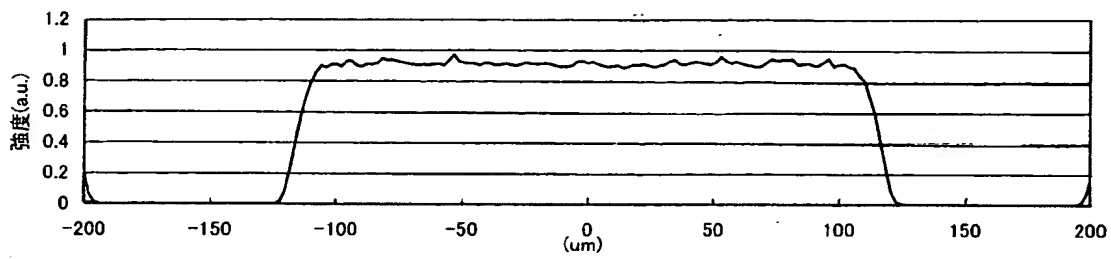


像面での均一性
(0.2mm×0.1mm 領域×3 領域)
上限 7.95%
下限 -5.30%

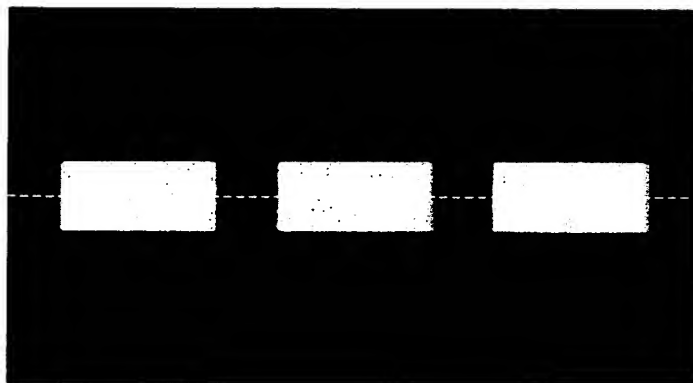
【図10】



【図11】



【図12】



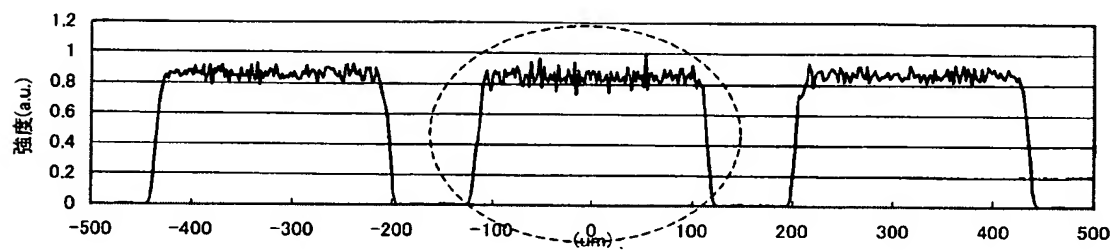
像面での均一性

(0.2mm×0.1mm 領域×3 領域)

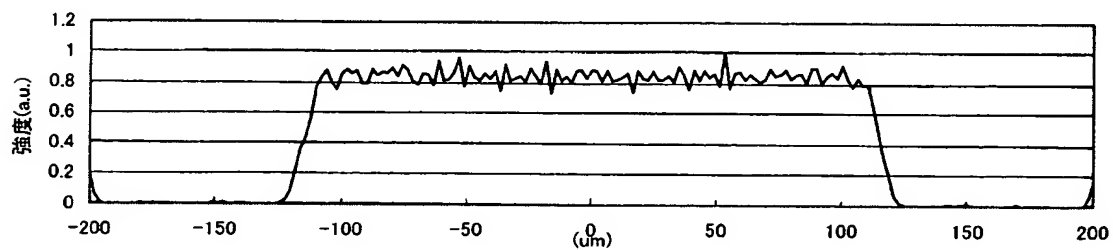
上限 18.31%

下限 -16.03%

【図13】

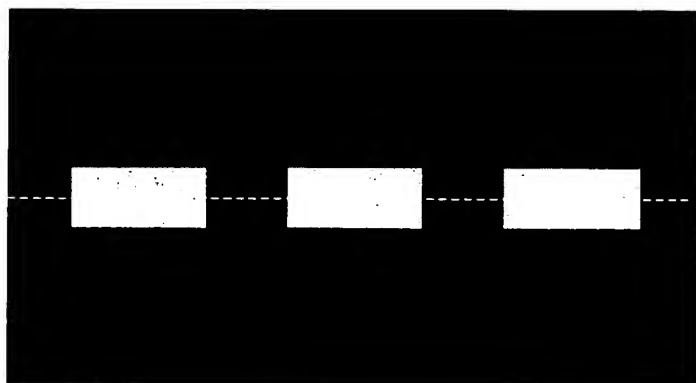


【図14】



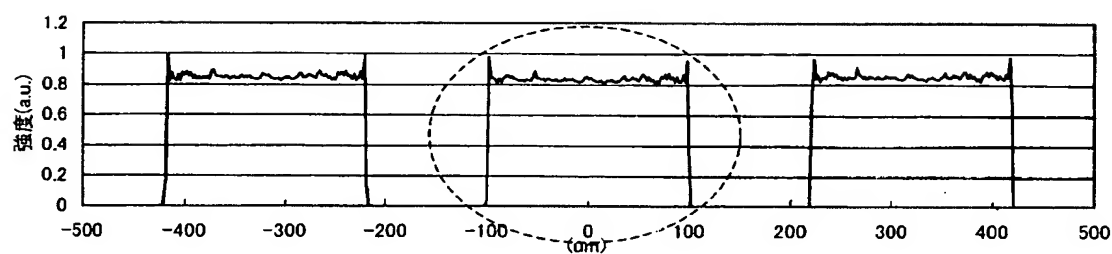
BEST AVAILABLE COPY

【図15】

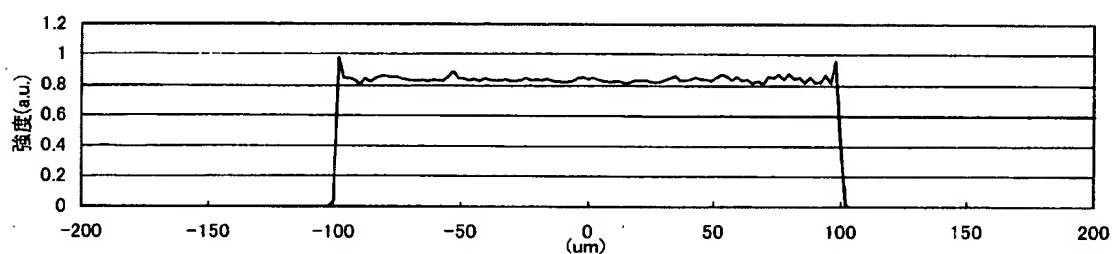


像面での均一性
(0.2mm×0.1mm 領域×3 領域)
上限 15.11%
下限 -13.04%

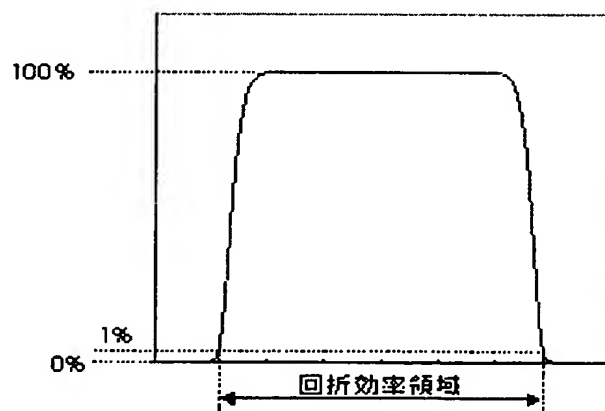
【図16】



【図17】



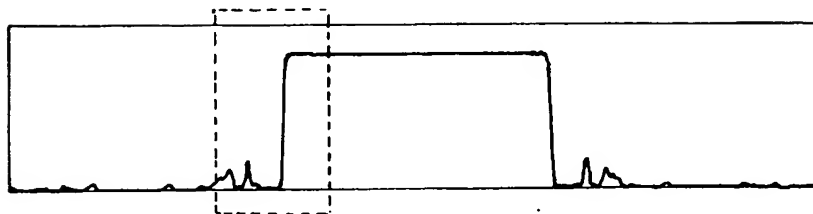
【図18】



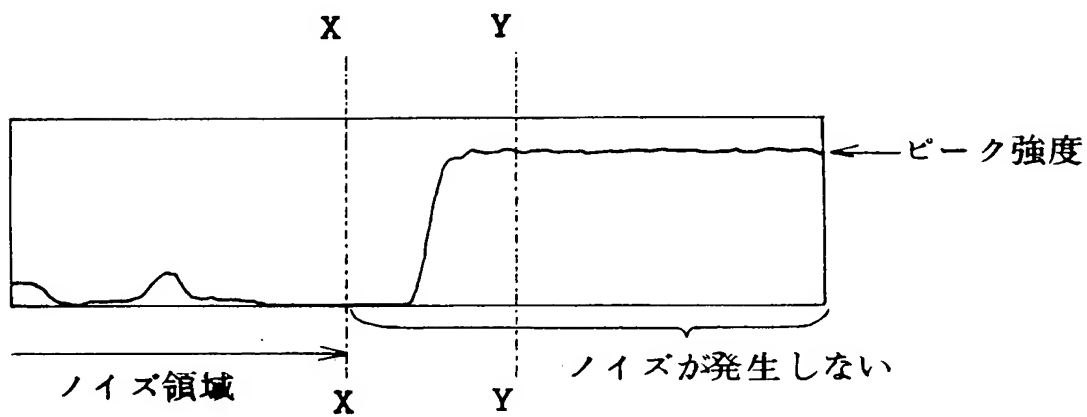
BEST AVAILABLE COPY

【図19】

アパーチャ位置での均一強度分布



【図20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ガウシアン分布をもつレーザビームを、ホモジナイザDOEを使ってある範囲でほぼ均一の強度分布にし、さらにそれを分岐作用をもつDOEによって多数の分岐ビームに分けたとき分岐ビームの微視的な強度は空間的に一様でなく揺らいでいる。分岐ビームの強度の揺らぎを減らすための工夫が望まれる。

【解決手段】 ホモジナイザDOEの焦点の位置に、ビーム寸法より大きい寸法の開口部をもつアパーチャマスクを設け、ビーム外のノイズ部分を遮断する。ビームの一部をカットしてしまってもいけないので、ビーム寸法より大きい窓のアパーチャマスクを使い、ビームが窓に触れないように設定する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 2 2 9 6 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社